



日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

50000310 US00

844  
44  
913-02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日  
Date of Application:

2001年 3月 6日

出願番号  
Application Number:

特願2001-062206

[ST.10/C]:

[JP2001-062206]

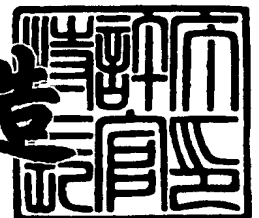
出願人  
Applicant(s):

ソニー株式会社

2002年 2月19日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3008378

【書類名】 特許願

【整理番号】 0000885905

【提出日】 平成13年 3月 6日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/205

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社  
    内

    【氏名】 奥山 浩之

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社  
    内

    【氏名】 土居 正人

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社  
    内

    【氏名】 琵琶 剛志

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社  
    内

    【氏名】 大畑 豊治

【特許出願人】

    【識別番号】 000002185

    【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100110434

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 佐藤 勝

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 076186

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0011610

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 表示装置及び半導体発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基体上に配設された複数の半導体発光素子は、それぞれ選択成長により形成されると共に前記基体の主面に対して傾斜する傾斜面を成長させた面に少なくとも周囲が囲まれた構造を有し、前記傾斜面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成されることを特徴とする表示装置。

【請求項 2】 前記半導体発光素子の前記選択成長により形成された傾斜面を成長させた面のうちの少なくとも 1 つは S 面若しくはこれと実質的に等価な面を含むことを有することを特徴とする請求項 1 記載の表示装置。

【請求項 3】 前記一方の導電層は形成時に前記選択成長のマスクとして用いた絶縁膜で終端することで自己整合することを特徴とする請求項 1 記載の表示装置。

【請求項 4】 半導体発光素子は発光波長を決めるためのダミー素子と共に形成されることを特徴とする表示装置。

【請求項 5】 前記ダミー素子は前記半導体発光素子のそれぞれの周囲に配置されることを特徴とする請求項 4 記載の表示装置。

【請求項 6】 前記ダミー素子と前記半導体発光素子の間の距離に応じて発光波長が変えられることを特徴とする請求項 4 記載の表示装置。

【請求項 7】 前記半導体発光素子の形状に応じて発光波長が変えられることを特徴とする請求項 4 記載の表示装置。

【請求項 8】 前記半導体発光素子は窒化物系半導体を用いて構成されることを特徴とする請求項 4 記載の表示装置。

【請求項 9】 前記窒化物系半導体は GaN 系半導体であることを特徴とする請求項 4 記載の表示装置。

【請求項 10】 前記半導体発光素子はサファイア基板またはシリコン基板上に形成されたものであることを特徴とする請求項 4 記載の表示装置。

【請求項 11】 発光波長が互いに異なる半導体発光素子を少なくとも 2 種類以上同一基体上に同一の結晶成長層によって形成し、該基体側の電極は共通電極と

されることを特徴とする表示装置。

【請求項 1 2】 前記半導体発光素子とダミー素子の位置関係及び前記半導体発光素子の形状の少なくとも一方によって前記発光波長が互いに異なることを特徴とする請求項 1 1 記載の表示装置。

【請求項 1 3】 基体上に配列される複数の半導体発光素子の間の素子間領域に光透過領域が形成されることを特徴とする表示装置。

【請求項 1 4】 前記基体に単色の半導体発光素子を複数個配設し、該基体を光の照射方向に重ねた構造を有する請求項 1 3 記載の表示装置。

【請求項 1 5】 前記半導体発光素子に接続する配線は前記光の照射方向で重なる構造を有する請求項 1 3 記載の表示装置。

【請求項 1 6】 前記半導体発光素子同士は前記光の照射方向で重ならない構造を有する請求項 1 3 記載の表示装置。

【請求項 1 7】 同一構造を有するダミー素子を周囲に形成してなることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 1 8】 前記ダミー素子と間の距離に応じて発光波長が変えられることを特徴とする請求項 1 7 記載の半導体発光素子。

【請求項 1 9】 形状に応じて発光波長が変えられることを特徴とする請求項 1 7 記載の半導体発光素子。

【請求項 2 0】 窒化物系半導体を用いて構成されることを特徴とする請求項 1 7 記載の半導体発光素子。

【請求項 2 1】 前記窒化物系半導体は G a N 系半導体であることを特徴とする請求項 2 0 記載の半導体発光素子。

【請求項 2 2】 前記ダミー素子と共にサファイア基板またはシリコン基板上に形成されてなることを特徴とする請求項 1 7 記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明が属する技術分野】

本発明は半導体発光素子を用いて構成される表示装置に関し、特に G a N 系半導体層の如きウルツ鉱型の化合物半導体層を用いて形成される表示装置と半導体

発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体発光素子として、これまでサファイア基板上に全面に低温バッファ層、SiをドーピングしたGaNからなるn側コンタクト層を形成し、その上にSiをドーピングしたGaNからなるn側クラッド層、SiをドーピングしたInGaNからなる活性層、MgをドーピングしたAlGaNからなるp側クラッド層と、MgをドーピングしたGaNよりなるp側コンタクト層などを積層した素子が知られている。このような構造を有し市販されている製品として、450nm から530nm を含む青色、緑色発光ダイオード (Light Emitting Diode) や半導体レーザーが量産されている。

【0003】

また、窒化ガリウムを成長させようとする場合、サファイア基板が使用されることが多く行われている。ところが、サファイア基板と成長させる窒化ガリウムの間の格子不整合から、結晶内に高密度の転位が内在することがある。このため基板上に低温バッファ層を形成する技術は、成長させる結晶に発生する欠陥を抑制するための1つの手段であり、また、結晶欠陥を低減する目的で特開平10-312971号公報では、横方向への選択結晶成長 (ELO: epitaxial lateral overgrowth) を組合わせている。さらに、特開平10-312971号公報に記載される半導体発光素子の製造方法では、基板の主面に垂直に伸びる貫通転位が、製造途中で成長領域に形成されるファセット構造によって横方向に曲げられ、そのまま伸びることができなくなって結晶欠陥を減少させることが可能であることが記載されている。

【0004】

また、青色、緑色、赤色の各色の発光ダイオードや半導体レーザーを組み合わせ各画素を構成し、各画素をマトリクス状に配列させて独立して駆動することで画像表示装置を構成することができ、また、青色、緑色、赤色の各色の発光素子を同時に発光させることで白色発光装置若しくは照明装置としても利用できる。特に窒化物半導体を用いた発光素子は、バンドギャップエネルギーが約1.9

eVから約6.2 eVまであり、1つの材料でフルカラーディスプレイが可能となるため、多色発光素子の研究が進められている。

#### 【0005】

従来、同一の基板上に多色発光素子を形成する技術としては、発光波長の違いに応じてバンドギャップエネルギーの異なる複数の活性層を積層し、基板側の電極を共通としながら、他方の電極を色毎に別個に形成した素子が知られており、電極取り出しのために階段状に形成された基板表面の各段が各色に対応する構造の素子が知られている。ところが、このようにpn接合を複数積層した素子は、同一素子内において発光素子がサイリスタのように動作する可能性があり、サイリスタ動作を防止するために例えば特開平9-162444号公報に開示されるように階段状の部分毎に溝を形成して各色毎の分離をした素子も知られている。また、特開平9-92881号公報に開示されている発光素子は、多色発光のために、アルミナ基板上にAlNバッファ層を介してInGa<sub>N</sub>層を形成し、そのInGa<sub>N</sub>層の一部にはAlをドーブとして青を発光させ、他の一部にはPをドーブして赤を発色させ、InGa<sub>N</sub>層のノンドープの領域を緑の発光領域として多色化する。

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

まず、基板からの貫通転位を低減するために、横方向の選択結晶成長をする技術や成長領域にファセット構造を形成する結晶成長方法においては、基板からの貫通転位をファセット構造部分などによって横方向に曲げることが可能であり、結晶欠陥を大幅に減らすことも可能となる。しかし、その後に活性層などの発光領域を形成するためには、横方向の選択結晶成長を十分に行ったり、或いはファセット構造を埋めこむことが行われていて、その工程数が増大し製造のための時間が長くなってしまおうという問題が生ずることになる。

#### 【0007】

また、前述のような多色化を図った半導体発光素子では、その製造工程が複雑化して、精度良く発光素子を形成することができず、さらに結晶性も劣化することから、良好な発光特性を得ることもできない。すなわち、各色毎の階段状の部

分毎に溝を形成して各色毎に分離した素子においては、各活性層の領域を隔離するために複数回の異方性エッチングが必要となるが、一般に、ドライエッチングによっては基板や半導体層の結晶性が劣化することがあり、結晶性を良質に保つことが困難である。また、複数回のエッチングを施す場合には、それだけマスク合わせやエッチングなどの工程数も増加することになる。また、基板上に形成された単一の活性層に選択的に不純物をドーピングする発光素子においては、マスク層の開口部の形成マージンなどが必要なため、予め誤差を見込んだ場合では、異なる発光色の領域の間では距離を十分にとる必要があり、微小な発光素子を形成するのが困難であり且つ選択的なドーピングによって工程数が増加する。

## 【0008】

一方、微細な領域に素子を形成する方法として選択成長によってピラミッド状にGaNなどの窒化物系半導体を形成する方法が知られており、特に、選択成長により六角錐形状の窒化物系半導体からなる発光素子の形成方法としては、例えば“Spatial control of InGaN luminescence by MOCVD selective epitaxy” D. Kapolnek et al., Journal of Crystal Growth 189/190(1998) 83-86に記載されるものがある。この文献に記載される選択成長では、微小な六角錐形状のGaN/InGaNからなる窒化物系半導体発光素子を複数形成できる。前記文献に開示されるプロセスでは空間因子 (Spacing Factor) に応じて発光波長が制御されることが記載されている。しかしながら、多色化のために異なる発光色の発光素子を製造し、異なる発光色の素子、例えば赤色、緑色、青色の発光色の素子を並べて画像表示装置を構成するための具体的な手段については記載されていない。

## 【0009】

そこで、本発明は、前述の技術的な課題に鑑み、その製造のための工程数も増加させずに多色化に好適な構造を有する表示装置及び半導体発光素子の提供を目的とする。

## 【0010】

## 【課題を解決するための手段】

本発明の表示装置においては、複数の半導体発光素子が基体上に配設され、各半導体発光素子は、それぞれ選択成長により形成されると共に前記基体の主面に



対して傾斜する傾斜面を成長させた面に少なくとも周囲が囲まれた構造を有し、前記傾斜面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成されることを特徴とする。

## 【 0 0 1 1 】

上述の表示装置によれば、各半導体発光素子を基体上に複数形成するために、選択成長によって基体の主面に対して傾斜する傾斜面が先ず形成される。そして、この半導体発光素子において傾斜面を成長させた面に少なくとも素子の周囲が囲まれた構造とすることで、次に導電層を形成した場合、選択成長に用いた絶縁膜などのマスク上で終端する構造の導電層が自己整合的に形成される。このため電極形成の際に素子間分離が不要若しくは容易となり、表示装置の製造のための工程数の増加を抑えることができる。

## 【 0 0 1 2 】

本発明の他の表示装置は、該表示装置を構成する半導体発光素子は発光波長を決めるためのダミー素子と共に形成されることを特徴とする。ダミー素子は、例示的には、半導体発光素子のそれぞれの周囲に配置され、同一の製造工程によって形成され、或いは半導体発光素子の間の距離に応じて発光波長が変えられるようにすることができる。

## 【 0 0 1 3 】

また、本発明のさらに他の表示装置は、発光波長が互いに異なる半導体発光素子を少なくとも2種類以上同一基体上に同一の結晶成長層によって形成し、該基体側の電極は共通電極とされることを特徴とする。発光素子を少なくとも2種類以上同一基体上に同一の結晶成長層によって形成することで、同様の結晶成長プロセスによって、異なる発光波長の素子を同一基体上に形成することができる。半導体発光素子の間で発光波長を互いに異ならせるため、例えば、半導体発光素子とダミー素子の位置関係を選んだり、或いは半導体発光素子の形状を選んだりすることができる。

## 【 0 0 1 4 】

本発明にかかるさらに他の表示装置は、基体上に配列される複数の半導体発光素子の間の素子間領域が光透過領域を有することを特徴とする。この光透過領域

は裏面からの光を透過できる領域であり、このような光透過領域を形成することで、基体同士を重ねた表示装置を構成した場合でも、裏面側の基体側に形成された半導体発光素子からの光を表面側に光透過領域を介して導出できる。

#### 【0015】

さらに、本発明の半導体発光素子は同一構造を有するダミー素子に周囲に形成してなることを特徴とする。このようなダミー素子を当該半導体発光素子の周囲に形成することで、発光波長を同一構造ながら変えることができ、複数の発光素子を用いて表示装置を構成した場合の多色化が可能である。

#### 【0016】

##### 【発明の実施の態様】

本発明にかかる表示装置は、基体上に複数の半導体発光素子を配列させて構成され、発光波長を設定するためのダミー素子と共に形成されることを特徴とし、その半導体発光素子はそれぞれ選択成長により形成されると共に基体の主面に対して傾斜する傾斜面を成長させた面に少なくとも周囲が囲まれた構造を有し、傾斜面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成されることを特徴とする。

#### 【0017】

初めに、本発明の表示装置を構成する各半導体発光素子について説明する。先ず、半導体発光素子の構成に用いられる基体としては、次にウルツ鉱型の化合物半導体層を形成し得るものであれば特に限定されず、種々のものを使用できる。例示すると、基体として用いることができるのは、サファイア ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、A面、R面、C面を含む。)、 $\text{SiC}$  (6H、4H、3Cを含む。)、 $\text{GaN}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{ZnS}$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{LiMgO}$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{GaAs}$ 、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 、 $\text{InAlGaIn}$ などからなる基板などであり、好ましくはこれらの材料からなる六方晶系基板または立方晶系基板であり、より好ましくは六方晶系基板である。例えば、サファイア基板を用いる場合は、窒化ガリウム ( $\text{GaN}$ ) 系化合物半導体の材料を成長させる場合に多く利用されているC面を主面としたサファイア基板を用いることができる。この場合の基板主面としてのC面は、5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。半導体装置の製造に広く使用さ

れているシリコン基板などを利用して、その上に形成する半導体層を傾斜面を有する構造としても良い。

#### 【0018】

この基板主面上には化合物半導体層を形成することができる。この化合物半導体層としては、後の工程でファセット構造を形成することからウルツ鉱型の化合物半導体であることが好ましい。さらに化合物半導体層としてはウルツ鉱型の結晶構造を有する窒化物半導体、BeMgZnCdS系化合物半導体、およびBeMgZnCdO系化合物半導体などが好ましい。窒化物半導体からなる結晶層としては、例えばIII族系化合物半導体を用いることができ、更には窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体、窒化アルミニウム(AlN)系化合物半導体、窒化インジウム(InN)系化合物半導体、窒化インジウムガリウム(InGaN)系化合物半導体、窒化アルミニウムガリウム(AlGaN)系化合物半導体を好ましくは形成することができ、特に窒化ガリウム系化合物半導体が好ましい。一例としては、サファイア基板上にアンドープのGaN層を形成し、その後でSiドープのGaN層を形成しても良い。なお、本発明において、InGaN、AlGaN、GaNなどは必ずしも、3元混晶のみ、2元混晶のみの窒化物半導体を指すのではなく、例えばInGaNでは、InGaNの作用を変化させない範囲での微量のAl、その他の不純物を含んでいても本発明の範囲であることはいうまでもない。また、S面に実質的に等価な面とは、S面に対して5乃至6度の範囲で傾いた面方位を含むものである。ここで本明細書中、窒化物とはB、Al、Ga、In、TaをIII族とし、V族にNを含む化合物を指し、全体の1%以内若しくは $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の不純物の混入を含む場合もある。

#### 【0019】

この化合物半導体層の成長方法としては、種々の気相成長法を挙げることができる。例えば有機金属化合物気相成長法(MOCVD(MOVPE)法)や分子線エピタキシー法(MBE法)などの気相成長法や、ハイドライド気相成長法(HVPE法)を用いることができる。その中でもMOVPE法によると、迅速に結晶性の良いものが得られる。MOVPE法では、GaソースとしてTMG(トリメチルガリウム)、TEG(トリエチルガリウム)、AlソースとしてはTMA

(トリメチルアルミニウム)、TEA (トリエチルアルミニウム)、Inソースとしては、TMI (トリメチルインジウム)、TEI (トリエチルインジウム) などのアルキル金属化合物が多く使用され、窒素源としてはアンモニア、ヒドラジンなどのガスが使用される。また、不純物ソースとしてはSiであればシランガス、Geであればゲルマンガス、MgであればCp<sub>2</sub>Mg (シクロペンタジエニルマグネシウム)、ZnであればDEZ (ジエチルジंक) などのガスが使用される。MOVPE法では、これらのガスを例えば600°C以上に加熱された基板の表面に供給して、ガスを分解することにより、InAlGa<sub>N</sub>系化合物半導体をエピタキシャル成長させることができる。

#### 【0020】

本発明の半導体発光素子においては、基体主面に対して傾斜した傾斜面を有するファセット構造を結晶成長によって形成するために、その結晶成長の下層となる化合物半導体層の表面にはマスクや段差が形成される。マスクは基体主面上に直接若しくは基体上に形成されたバッファ層その他の層上に形成される成長阻害膜であり、例えば酸化シリコン膜や窒化シリコン膜などの絶縁膜からなるマスク材料が使用される。段差を利用してファセット構造を形成する場合は、基板上に現れる結晶面例えば基板主面に垂直な結晶面が、他の基板主面に平行な結晶面とは異なる成長速度で結晶を成長させ、その結果としてファセット構造を形成するようにすることができる。段差は、全面に化合物半導体層を形成した後、フォトリソグラフィーと異方性エッチングによって形成でき、酸化シリコン層や窒化シリコン層などのマスク材料を活用しても良い。このマスクや段差の形状としては、基板主面に対して傾斜した傾斜面を有するファセット構造にし得る形状であれば特に限定されるものではなく、一例としてストライプ状、矩形状、円形状、楕円形状、三角形状、五角形状又は六角形状などの多角形状とされる。段差の形状とは、高低差のある部分の平面形状を指し、たとえば三角形状という場合には、三角柱状に突出する場合と三角柱状に凹部を形成する場合の両方があるが、本明細書ではその両方を含むものとする。段差が形成される領域は化合物半導体層の全表面でも良く、一部だけでも良い。また、異なる形状の段差を組み合わせるよう形成するようにしても良い。

## 【0021】

このような選択成長のマスク等を形成したところで、選択的な結晶成長によって傾斜面を有するファセット構造を有する結晶成長層を形成する。結晶成長は、前述の化合物半導体層の形成のための方法と同じ方法で行うことができる。具体的には、成長方法としては、種々の気相成長法を挙げることができ、例えば有機金属化合物気相成長法（MOCVD（MOVPE）法）や分子線エピタキシー法（MBE法）などの気相成長法や、ハイドライド気相成長法（HVPE法）を用いることができる。

## 【0022】

本発明にかかる半導体発光素子においては、結晶成長によりファセット構造を有する結晶成長層を形成した場合には、基体主面に対して傾斜した傾斜面としてS面及び $\{11-22\}$ 面またはこれらの各面に実質的に等価な面の中から選ばれる面を有することが望ましい。例えば、基体主面をC面とした場合では、S面またはS面に実質的に等価な面を容易に形成することが可能である。S面はC+面の上に選択成長した際に見られる安定面であり、比較的得やすい面であって六方晶系の面指数では $(1-101)$ である。C面にC+面とC-面が存在するのと同様に、S面についてはS+面とS-面が存在するが、本明細書においては、特に断らない場合は、C+面Ga<sub>2</sub>N上にS+面を成長しており、これをS面として説明している。なお、S面についてはS+面が安定面である。またC+面の面指数は $(0001)$ である。

## 【0023】

このS面については、窒化ガリウム系化合物半導体を用いて結晶層を構成した場合には、S面上、GaからNへのボンド数が2または3とC-面の次に多くなる。ここでC-面はC+面の上には事実上得ることができないので、S面でのボンド数は最も多いものとなる。例えば、C+面を主面に有するサファイア基板に窒化物を成長した場合、一般にウルツ鉱型の窒化物の表面はC+面になるが、選択成長を利用することでS面を安定して形成することができ、C+面に平行な面では脱離しやすい傾向をもつNのボンドがGaから一本のボンドで結合しているのに対し、傾いたS面では少なくとも一本以上のボンドで結合することになる。従

って、実効的にV/III 比が上昇することになり、積層構造の結晶性の向上に有利である。また、基板と異なる方位に成長すると基板から上に伸びた転位が曲がることもあり、欠陥の低減にも有利となる。

#### 【0024】

結晶成長層がどのような傾斜面を有するファセット構造を持つかは、マスクの形状、結晶成長時の成長条件や段差形状によって制御できるものである。例えばストライプ状に延在される段差部が窒化ガリウム系半導体層の表面に形成されているものとする、そのストライプの長手方向が $(11-20)$ 方向であれば、S面を傾斜面とするファセット構造がストライプの長手方向に垂直な面の断面が逆V字状となるように形成される。ここで段差の形状はストライプ状とは限らないため、結晶成長層の逆V字状の断面は種々の形状で現れる。結晶成長層の形状は、例えばストライプ状、矩形状、丸形状、三角形状、又は六角形状である。結晶成長層は段差の形状を反映して成長され、該段差の端部の延在方向は $(1-100)$ 方向に略垂直、または $(11-20)$ 方向に略垂直に設定することで、横方向の成長と垂直方向の成長の速度差が得られてファセット構造が得られることになる。

#### 【0025】

このようなファセット構造を有する結晶成長層には、傾斜面に平行に延在される領域に第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層が積層される。本発明者らが窒化物半導体について行った実験において、カソードルミネッセンスを用い、成長したファセット構造を観測してみると、傾斜面であるS面の結晶は良質でありC+面に比較して発光効率が高くなっていることが示されている。特にInGaN活性層の成長温度は例えば $700\sim 800^{\circ}\text{C}$ とする。この温度ではアンモニアの分解効率が低く、よりN種が必要とされる。またAFMで表面を見たところステップが揃ってInGaN取り込みに適した面が観測された。さらにその上、Mgドープ層の成長表面は一般にAFMレベルでの表面状態が悪いが、S面の成長によりこのMgドープ層も良い表面状態で成長し、しかもドーピング条件がかなり異なることがわかっている。また、顕微フォトルミネッセンスマッピングを行うと、 $0.5-1\mu\text{m}$ 程度の分解能で測定することができ

るが、C+ 面の上に成長した通常の方法では、 $1\ \mu\text{m}$ ピッチ程度のむらが存在し、選択成長でS面を得た試料については均一な結果が得られた。また、SEMで見た斜面の平坦性もC+ 面より滑らかに成っている。

#### 【 0 0 2 6 】

傾斜面に平行に延在される領域に形成される第1導電型クラッド層、活性層、および第2導電型クラッド層において、第1導電型はp型又はn型であり、第2導電型はその反対の導電型である。例えばS面を構成する結晶層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成した場合は、n型クラッド層をシリコンドープの窒化ガリウム系化合物半導体層によって構成し、その上にInGa<sub>N</sub>層を活性層として形成し、さらにその上にp型クラッド層としてマグネシウムドープの窒化ガリウム系化合物半導体層を形成してダブルヘテロ構造を形成することができる。活性層であるInGa<sub>N</sub>層をAlGa<sub>N</sub>層で挟む構造や片側だけにAlGa<sub>N</sub>層を形成する構造とすることも可能である。また、活性層は単一のバルク活性層で構成することも可能であるが、単一量子井戸(SQW)構造、二重量子井戸(DQW)構造、多重量子井戸(MQW)構造などの量子井戸構造を形成したものであっても良い。量子井戸構造には必要に応じて量子井戸の分離のために障壁層が併用される。活性層をInGa<sub>N</sub>層とした場合には、特に製造工程上も製造し易い構造となり、素子の発光特性を良くすることができる。さらにこのInGa<sub>N</sub>層は、窒素原子の脱離しにくい構造であるS面の上での成長では特に結晶化しやすくしかも結晶性も良くなり、発光効率を上げることが出来る。なお、窒化物半導体はノンドープでも結晶中にできる窒素空孔のためにn型となる性質があるが、通常Si、Ge、Seなどのドナー不純物を結晶成長中にドープすることで、キャリア濃度の好ましいn型とすることができる。また、窒化物半導体をp型とするには、結晶中にMg、Zn、C、Be、Ca、Baなどのアクセプター不純物をドープすることによって得られるが、高キャリア濃度のp層を得るためには、アクセプター不純物のドープ後、窒素、アルゴンなどの不活性ガス雰囲気中で400℃以上でアニーリングを行うことが好ましく、電子線照射などにより活性化する方法もあり、マイクロ波照射、光照射などで活性化する方法もある。

## 【 0 0 2 7 】

これら第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層は、傾斜面に平行な面内に延在されるが、このような傾斜面に平行な面内への形成は、傾斜面が形成されているところで続けて結晶成長させれば容易に行うことができる。第1導電型クラッド層はS面を構成する結晶層と同じ材料で同じ導電型とすることができ、S面を構成する結晶層を形成した後、連続的に濃度を調整しながら形成することもでき、また他の例として、S面の構成する結晶層の一部が第1導電型クラッド層として機能する構造であっても良い。

## 【 0 0 2 8 】

活性層を挟む第1導電型クラッド層及び第2導電型クラッド層には電極が直接或いは間接的に接続される。各電極はそれぞれの素子ごとに形成されるものであるが、p電極またはn電極の一方は共通化することもできる。接触抵抗を下げるために、コンタクト層を形成し、その後で電極をコンタクト層上に形成しても良い。一般的に各電極は多層の金属膜を蒸着などによって被着して形成されるが、素子ごとに区分するためにフォトリソグラフィを用いてリフトオフなどにより微細加工することができる。各電極は選択結晶成長層や基板の一方の面に形成することもでき、両側に電極を形成してより高密度で電極を配線するようにすることもできる。また、独立して駆動される電極はそれぞれ同じ材料を微細加工して形成したものであっても良いが、領域ごとに異なる材料の電極材料を使用することも可能である。

## 【 0 0 2 9 】

本発明にかかる半導体発光素子では、結晶成長によって形成された傾斜面の結晶性の良さを利用して、発光効率を高めることができる。特に、III族窒化物系半導体を用い、結晶性が良いS面にのみ電流を注入すると、S面はInの取り込みもよく結晶性も良いので発光効率を高くすることができる。更にInGa<sub>N</sub>活性層を用いて多色化するためには、十分にInが結晶として取り込まれる必要があり、S面の良好な結晶性を利用することで発光効率を高めることができ、かつ多色発光に望ましい構造となる。すなわち、C<sup>+</sup>面上に成長する限りでは脱離し易いと思われるNのボンドがGaから一本しか出ておらず、分解効率が低いア



ンモニアを用いて成長する限りでは実効的な $V/I$ 比が大きく出来ないことになり、良質の結晶成長を行うためには多くの工夫を必要とする。しかし、S面での成長ではNのボンドはGaに対して2本又は3本でつながっているため、Nは脱離しにくい傾向になることになり、実効的な $V/I$ 比が高くなると考えられる。これはS面成長のみに限らずC+面以外の成長ではすべてNへのGaからのボンドの数は増える傾向にあるためにC+面を用いないで成長することはすべて高品質化につながる言える。そして結晶へのIn取り込み量は事実上大きくなる。このようにInの取り込み量が多くなった場合には、Inの取り込み量でバンドギャップエネルギーが支配されるため、多色化に好適となる。

### 【0030】

本発明にかかる半導体発光素子の一例においては、選択成長によって形成されるファセット構造の傾斜面で少なくとも周囲が囲まれた素子構造を有し、その傾斜面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成される。すなわち、ファセット構造の傾斜面によって素子の周囲が囲まれることから、基体主面に対して傾斜した形状で導電層が形成されることになるが、選択成長に用いたマスクや段差のところで導電層の端部は終端し、個々の素子毎の導電層が傾斜面の部分だけに整合的に形成されることになる。例えば、基体側から順に第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層を形成する素子構造においては、第2導電型クラッド層が自己整合的に形成される一方の導電層を構成する。このため一方の導電層は、素子毎にエッチングなどで分離する必要もなく、従って高密度に素子を配置することができる。

### 【0031】

本発明にかかる半導体発光素子では、後述するような、所要のダミー素子を配設させて発光波長を制御することが可能であるが、発光領域の間では活性層の組成及び厚さの少なくとも一方が異なるように設定することもできる。すなわち、活性層の組成だけが異なっても良く、活性層の厚さだけが異なっても良く、活性層の組成及び厚さの両方が異なっても良い。これらの活性層の組成及び厚さを変える手法は、後述するようなダミー素子と組み合わせて使用できるものであり、さらにはダミー素子によって引き起こされるものであっても良い。

半導体発光素子の層組成の変化としては、活性層を構成する3元混晶や2元混晶の混晶比を同じ活性層内で変化させることも可能であり、例えば活性層をInGa<sub>N</sub>活性層によって構成した場合には、活性層に含有されるInの量を多くすることで、より長波長の半導体発光素子を構成することができる。例えばInGa<sub>N</sub>層の結晶成長において、InGa<sub>N</sub>の特にInのマイグレーション長は、In組成の比較的大きいInGa<sub>N</sub>層の結晶成長でほぼ最適となる700°C程度で約1から2μm程度と見積もられる。これはマスク上に析出するInGa<sub>N</sub>が選択成長した部分から約1から2μm程度しか成長しないからである。このことから、Inのマイグレーション長はその程度と考えられ、このようにマスク部分から成長部分にかけてInGa<sub>N</sub>でのInなどのマイグレーション長は比較的短いため、その面の中でInの組成や、InGa<sub>N</sub>の厚さが異なることがある。

#### 【0032】

また、本発明にかかる半導体発光素子の一例においては、後述するようなダミー素子のレイアウトによる制御も可能であるが、他の発光波長を異ならせる手法として、選択成長のマスク開口部の形状を変えることで発光素子の形状を変え、それによっても発光波長を異ならせることができる。例えば、円形や正六角形の開口部から選択成長させて第1発光波長の半導体発光素子を形成するのと平行して、帯状、ストライプ状の第1発光波長と異なる第2発光波長の半導体発光素子を形成しても良い。これらの選択成長のマスク開口部の形状を変える手法は、後述するようなダミー素子と組み合わせて使用できるものである。一例としてストライプ状のマスクを形成した後、選択成長によってS面からなる傾斜面を有するファセット構造を形成した場合には、傾斜面に形成される発光領域が長波長とされ、C面に形成される発光領域を短波長とすることができる。また成長条件によっては、逆もありうる。

#### 【0033】

特に本発明にかかる半導体発光素子の一例においては、ダミー素子を当該半導体発光素子と共に形成できる。ダミー素子は同一基体上に実質的に同一な製造方法で形成する素子であり、半導体発光素子の空間因子 (Spacing Factor) を設定

するために半導体発光素子の周囲に配設される。上述のように、選択成長により六角錐形状の窒化物系半導体からなる半導体発光素子を形成した場合においては、例えば”Spatial control of InGaN luminescence by MOCVD selective epitaxy” D. Kapolnek et al., Journal of Crystal Growth 189/190(1998) 83-86に記載されるように、空間因子に応じて発光波長が制御されるため、ダミー素子を配設することで発光波長を積極的に且つ確実に制御することができる。

## 【 0 0 3 4 】

ここでダミー素子についてさらに説明すると、発光させる半導体発光素子を中心に周囲に等間隔でピラミッド状のダミー素子を複数個配列したレイアウトや、発光させる半導体発光素子を中心に周囲を囲む閉ループ状のものなどのレイアウトであっても良く、長い矩形状或いは円弧状のダミー素子と六角錐状のダミー素子の組み合わせや、多重円状に配列されるものであっても良く、また、これらに限定されずに空間因子を制御できるような他の素子形状、レイアウトなどであっても良い。ダミー素子に隣接して配置される半導体発光素子は1つとは限らず、複数個まとめて存在するようなレイアウトであっても良い。ダミー素子と発光させる半導体発光素子の間では、層構造が厳密に一致している必要はなく、各層の厚みや、組成材料、不純物濃度などが一致していても良く、異なるようにしていても良い。また、ダミー素子にのみ層や不純物などを追加するようにしても良い。ダミー素子の部分だけ基板に段差を形成するなどの方法から半導体発光素子とは異なる高さで層を形成して空間因子を制御するようにしても良い。ダミー素子と発光させる半導体発光素子の間で構造が一致している場合には、製造上同じ工程で製造できる利点がある。ダミー素子と発光させる半導体発光素子の間の距離は、空間因子の1つであり、その距離を制御することで発光波長を制御することができる。また、半導体発光素子自体の形状も、前述のように発光波長を制御するために用いることができる。

## 【 0 0 3 5 】

例えば、ダミー素子の配置を換えて、赤色発光の半導体発光素子と、青色発光の半導体発光素子と、緑色発光の半導体発光素子とを形成する場合、やや大きめのサイズ（例えば40 $\mu$ m径）に亘って半導体発光素子とその周囲にダミー素子

を形成した場合では該半導体発光素子は赤色発光が可能とされ、やや小さめのサイズ（例えば  $20\ \mu\text{m}$  径）に亘って半導体発光素子とその周囲にダミー素子を形成した場合では該半導体発光素子は緑色発光が可能とされ、赤色発光のやや大きめのサイズにダミー素子を配設しながらも中央の半導体発光素子の形状を細長い矩形状とした場合では、青色発光が可能となる。

## 【 0 0 3 6 】

次に、本発明の表示装置について説明する。本発明にかかる表示装置は、半導体発光素子を複数個並べた構造を有しており、特に異なる発光波長の半導体発光素子を同一基板（基体）上に並べて多色化を図ることもでき、半導体発光素子を各発光波長毎にそれぞれ各基板（基体）上に設けて、基板同士を重ね合わせて多色化を図ることもできる。基板同士を重ね合わせる場合では、複数の半導体発光素子の間の素子間領域が少なくとも  $1\ \mu\text{m}$  以上の大きさの光透過領域を有するようにすれば良い。仮に  $1\ \mu\text{m}$  未満の場合では、重なっている基板の中、基板間の距離とビームの広がり考えた場合に、裏面側の基板上に形成されている半導体発光素子から出射光が光透過領域以外で反射されてしまうことになり、照度の低下をきたすことになる。

## 【 0 0 3 7 】

例えば、半導体発光素子として赤色発光、青色発光、緑色発光の素子をそろえてフルカラーの画像表示装置を構成する場合は、赤色発光の素子だけを配列させた基板と、青色発光の素子だけを配列させた基板と、緑色発光の素子だけを配列させた基板とを光の照射方向に重ね合わせ、それぞれ裏面に位置する発光素子からの光は光透過領域を透過させるようにすることで、フルカラーの表示が可能となる。この時、半導体発光素子同士は光の照射方向で重ならない構造とすることが好ましく、また、半導体発光素子に電源若しくは信号を供給するための配線同士は光の照射方向で重なる構造であっても良い。半導体発光素子同士が照射方向で重なった場合では、発光色が混ざることになり所望の画像形成ができなくなるため、半導体発光素子同士は光の照射方向で重ならない構造とすることが望ましい。また、低抵抗化のために金属薄膜を配線材料とした時にはその配線部分で光を透過しないことが考えられるが、半導体発光素子に電源若しくは信号を供給

するための配線同士が光の照射方向で重なる構造とした場合では光を透過しない領域を重ねあわすことになり、光の透過性を良好に維持できると共に、素子配置の自由度も高くなる。

#### 【 0 0 3 8 】

このような光透過領域は、たとえば半導体発光素子をサファイア基板上の成長させた場合では、ガラス基板や透明プラスチック基板などの光透過性基板上に転写したり、サファイア基板やその他の成長基板、あるいはシリコン基板などを薄く研磨、研削して基板自体の光透過性を向上させたり、あるいはエッチングなどにより、光透過用の開口部や薄い部分を形成するようにしても良い。また、基板の間にレンズ、その他の光学部材を介在させるようにすることもでき、レンズ、その他の光学部材は基板間のスペーサーを兼ねるようにしても良い。ガラス基板や透明プラスチック基板などの基板上に転写したり、サファイア基板やその他の基板等を薄く研磨、研削する場合では、基板自体の剛性が失われる傾向にあるが、逆に基板自体の可とう性が改善され、熱処理時に発生し得るひび割れや反りなどの問題が容易に解決されることになる。

#### 【 0 0 3 9 】

また、本発明の表示装置は、3原色や2色以上の発光色を有する半導体発光素子を複数個配列した上で、同じ電流を各発光領域に注入することで、白色や混色の照明装置としても利用できる。また、赤青緑の各色を備えたものに限定されず、2色またはそれ以上発光色の発光素子を備えた表示装置などであっても良い。

#### 【 0 0 4 0 】

本発明にかかる表示装置の駆動方法としては、アクティブマトリクス型液晶表示装置と同様の点順次または線順次方式を用いることができる。半導体発光素子は、発光波長が異なる場合に異なる素子構造をとっても良い。例えば、青色及び緑色の発光ダイオード用としてサファイア基板上に成長された窒化ガリウム系のダブルヘテロ構造多層結晶を用いることができ、赤色の発光ダイオード用として砒化ガリウム基板上に成長された砒化アルミニウムガリウムまたは磷化インジウムアルミニウムガリウム系のダブルヘテロ構造多層結晶を用いることができる。発光ダイオードは互いに波長を異ならせた3つの発光素子の組からなる画素を構

成するが、異なる波長の組は赤、緑、青に限らず、他の色の組であっても良い。  
また、半導体発光素子は発光ダイオードに限定されず、所要の共振器を備えた半導体レーザーであっても良い。

## 【 0 0 4 1 】

以下、本発明を各実施形態を参照しながら更に詳細に説明する。なお、本発明の半導体発光素子は、その要旨を逸脱しない範囲で変形、変更などが可能であり、本発明は以下の各実施形態に限定されるものではない。

## 【 0 0 4 2 】

## 〔第 1 の実施形態〕

図 1 乃至図 4 を参照しながら、本実施形態の表示装置について説明する。本実施形態の表示装置は、発光色を赤、青、緑とする 3 つの半導体発光素子からなる 1 画素構造をマトリクス状に配列した構造の表示装置であり、表示部の垂直方向と水平方向にそれぞれ各画素が並べられて構成されている。

## 【 0 0 4 3 】

図 1 はその表示装置の 1 画素部分の構造を示す平面図である。図 1 に示すように、サファイア基板 1 0 上には赤色発光ダイオード 1 1 R、青色発光ダイオード 1 1 B、及び緑色発光ダイオード 1 1 G が垂直方向（図中 V 方向）及び水平方向（図中 H 方向）の両方向でそれぞれずれて斜めに配列されている。これら各発光ダイオード 1 1 R、1 1 B、1 1 G は、それぞれ G a N 系の窒化物半導体層に第 1 導電型クラッド層、活性層、及び第 2 導電型クラッド層が形成されて構成されており、これら素子は同一のサファイア基板 1 0 に同じ工程で形成される。各発光ダイオード 1 1 R、1 1 B、1 1 G はほぼ六角錐形状のピラミッド型であり、光の照射方向は図 1 の表面側から裏面側に向かう方向である。

## 【 0 0 4 4 】

赤色発光ダイオード 1 1 R の周囲の六方向であって六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子 1 2 R が形成され、赤色発光ダイオード 1 1 R は 6 個のダミー素子 1 2 R の中心に位置している。この赤色発光ダイオード 1 1 R のマグネシウムドーピングの G a N 層は略矩形状の p 電極 1 5 に接続され、この p 電極 1 5 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 1 8 に一体に形成され若しくは

接続されている。同様に、青色発光ダイオード 1 1 B の周囲の六方向であって 1 対の対向する辺が他の辺よりも長く形成された扁平な六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子 1 3 B が形成され、青色発光ダイオード 1 1 B は 6 個のダミー素子 1 3 B の中心に位置している。青色発光ダイオード 1 1 B は他の赤色発光ダイオード 1 1 R や緑色発光ダイオード 1 1 G に比べて素子の形状が帯状とされている。この青色発光ダイオード 1 1 B のマグネシウムドーパの G a N 層は略矩形状の p 電極 1 6 に接続され、この p 電極 1 6 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 1 9 に一体に形成され若しくは電氣的に接続されている。同様に、緑色発光ダイオード 1 1 G の周囲の六方向であって六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子 1 4 G が形成され、緑色発光ダイオード 1 1 G は 6 個のダミー素子 1 4 G の中心に位置している。この緑色発光ダイオード 1 1 G のマグネシウムドーパの G a N 層は略矩形状の p 電極 1 7 に接続され、この p 電極 1 7 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 2 0 に一体に形成され若しくは電氣的に接続されている。

## 【 0 0 4 5 】

ここでダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G について詳しく説明すると、これらダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G は、各発光ダイオード 1 1 R、1 1 B、1 1 G の空間因子 (Spacing Factor) を設定するために各発光ダイオード 1 1 R、1 1 B、1 1 G の周囲に配設される。空間因子に応じて発光波長が制御されるため、このように各発光ダイオード 1 1 R、1 1 B、1 1 G の周囲に、これらダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G を配置することで、発光波長を積極的に且つ確実に制御することができる。図 2 は各発光色ごとの選択成長用のマスクと、結晶成長によって形成された発光ダイオードとダミー素子のパターンを示すものであり、図 2 の上側が選択成長用のマスクであり、下側が成長した発光ダイオードとダミー素子のパターンである。

## 【 0 0 4 6 】

まず、図 2 において (R) で示す赤色のマスクは、中心に発光ダイオードの選択成長マスク開口部 2 5 R が形成され、その周囲の六方向であって六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子用の開口部 2 6 R が形成される。開口部 2

6 Rや開口部 2 5 Rの径は、例えば $0.1\ \mu\text{m}$ から $10\ \mu\text{m}$ 程度とすることができ、その形状は略六角形などの多角形や円形、楕円形などでも良い。ダミー素子を形成するための開口部 2 6 Rと赤色発光ダイオード 1 1 Rの開口部 2 5 Rの間の距離は一例として $20\ \mu\text{m}$ 程度とすることができ、このため6つの開口部 2 6 Rによって形成される六角形のサイズは $40\ \mu\text{m}$ 程度とすることができる。この赤色発光用のマスクの開口部 2 5 R、2 6 Rを用いて選択成長することで、これら開口部 2 5 R、2 6 Rの位置に選択成長から六角錐状の発光ダイオード 1 1 Rとダミー素子 1 2 Rが形成される。

## 【 0 0 4 7 】

図 2 において (B) で示す青色のマスクは、中心に発光ダイオードの選択成長マスク開口部 2 5 Bが略矩形状のパターンで形成され、その周囲の六方向であって扁平した六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子用の開口部 2 7 Bが形成される。開口部 2 7 Bの径は、開口部 2 6 Rや開口部 2 5 Rの径と同様に、例えば $0.1\ \mu\text{m}$ から $10\ \mu\text{m}$ 程度とすることができる。略矩形状の開口部 2 5 Bのサイズは、例えば開口部 2 5 Rの径の2倍乃至10倍程度のサイズとすることが可能である。ダミー素子を形成するための開口部 2 7 Bと青色発光ダイオード 1 1 Bの開口部 2 5 Bの間の距離は、矩形状の開口部 2 5 Bの端部からのそれぞれの距離として、例えば $20\ \mu\text{m}$ 程度とすることができ、このため6つの開口部 2 7 Bによって形成される扁平六角形の長手方向のサイズは $40\ \mu\text{m}$ 程度に開口部 2 5 Bの長手方向のサイズを加えたサイズとすることができる。この青色発光用のマスクの開口部 2 5 B、2 7 Bを用いて選択成長することで、これら開口部 2 5 B、2 7 Bの位置に選択成長から六角錐状の発光ダイオード 1 1 Bとダミー素子 1 3 Bが形成される。

## 【 0 0 4 8 】

図 2 において (G) で示す緑色のマスクは、中心に発光ダイオードの選択成長マスク開口部 2 5 Gが形成され、その周囲の六方向であって六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子用の開口部 2 8 Gが形成される。開口部 2 8 Gや開口部 2 5 Gの径は、例えば $0.1\ \mu\text{m}$ から $10\ \mu\text{m}$ 程度とすることができ、その形状は略六角形などの多角形や円形、楕円形などでも良い。ダミー素子を形成



するための開口部 2 8 G と緑色発光ダイオード 1 1 G の開口部 2 5 G の間の距離は一例として 1 0  $\mu$  m 程度とすることができ、このため 6 つの開口部 2 8 G によって形成される六角形のサイズは 2 0  $\mu$  m 程度とすることができる。この緑色発光用のマスクの開口部 2 5 G、2 8 G を用いて選択成長することで、これら開口部 2 5 G、2 8 G の位置に選択成長から六角錐状の発光ダイオード 1 1 G とダミー素子 1 4 G が形成される。

## 【 0 0 4 9 】

ダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G による空間因子に設定から各発光ダイオード 1 1 R、1 1 B、1 1 G は発光波長が異なるものとされる。赤色発光ダイオード 1 1 R は、例えばエネルギーギャップがおよそ 2 . 2 e V で、波長およそ 6 2 0 n m の光を照射する。青色発光ダイオード 1 1 B は、例えばエネルギーギャップがおよそ 2 . 7 e V で、波長およそ 4 7 0 n m の光を照射する。緑色発光ダイオード 1 1 G は、例えばエネルギーギャップがおよそ 2 . 5 e V で、波長およそ 5 2 0 n m の光を照射する。本実施例では、各発光ダイオードは同一サファイア基板 1 0 上に形成される同様の層構造の素子を、ダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G によって発光波長が異なるように制御しているが、これに限らず、例えば 3 波長の中の 1 つ又は 2 つを異なる層構造とし、ダミー素子を設けるのは一部の発光ダイオードだけにするような構成であっても良い。

## 【 0 0 5 0 】

次に、図 3 と図 4 を参照しながら、発光ダイオードの構造と配線部の構造について説明する。図 3 は図 1 の I I I - I I I 線断面図であり、赤色発光ダイオード 1 1 R の構造断面を示す。この赤色発光ダイオード 1 1 R はダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G による波長の制御を受けている部分（例えば不純物濃度、結晶構造など）を除き、青色発光ダイオード 1 1 B と緑色発光ダイオード 1 1 G と同じ層構造とされる。図 3 に示すように、赤色発光ダイオード 1 1 R は G a N 系の発光ダイオードであり、その構造については、C + 面を主面とするサファイア基板 1 0 上に A l N バッファ層やシリコンドープの G a N 系半導体層などを有する下地成長層 3 2 が形成され、その上に選択成長された六角錐形状の G a N 層 3 5 が形成されている。この六角錐形状の G a N 層 3 5 は下地成長層 3 2 上に形成さ

れたシリコン酸化膜からなる選択マスク 33 に形成された開口部 34 を介して選択成長した層である。開口部 34 は図 2 のマスクの開口部 25 R に該当する。六角錐形状の GaN 層 35 はその選択マスク 33 を開口した開口部 34 の内部で MOCVD 法などによって形成される。

#### 【0051】

この GaN 層 35 は、成長時に使用されるサファイア基板の主面を C 面とした場合に S 面（1-101 面）で覆われたピラミッド型の成長層であり、n 型とするためにシリコンがドーパされた領域とされる。GaN 層 35 は、選択マスク 33 によって開口部 34 内部から結晶成長が生じて、傾斜面である S 面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成される。この時、選択成長に用いた絶縁膜からなる選択マスク 33 上で終端する構造に GaN 層 35 が自己整合的に成長する。

#### 【0052】

この GaN 層 35 の傾斜面である S 面の部分はダブルヘテロ構造のクラッドとして機能する。GaN 層 35 を覆うように活性層である InGaIn 層 36 が形成されており、その外側にマグネシウムドーパの GaN 層 37 が形成される。このマグネシウムドーパの GaN 層 37 もクラッドとして機能する。このマグネシウムドーパの GaN 層 37 は、その素子周囲の端部で、絶縁膜からなる選択マスク 33 上で終端するように延在され、マグネシウムドーパの GaN 層 37 は選択マスク 33 上で自己整合的に成長する。このため表示装置を構成するために、クラッド層である GaN 層 35 や、活性層である InGaIn 層 36、クラッド層であるマグネシウムドーパの GaN 層 37 に関しては素子間分離が不要であり、選択マスク 33 を開口した位置に発光素子をセルフアラインで配置できることになる。ここで活性層である InGaIn 層 36 の膜厚は例えば 3 nm 程度であり、マグネシウムドーパの GaN 層 37 の膜厚は例えば 20 nm 程度とすることができる。

#### 【0053】

このような発光ダイオードには p 電極 15 が形成されている。p 電極 15 はマグネシウムドーパの GaN 層 37 上に形成される Ni/Pt/Au または Ni

(P d) / P t / A uなどの金属材料を蒸着して形成される。p 電極15の層構造の一例としては、N iが約1 n mであり、P tが約1 0 n mであり、A uが約1 0 0 n mとされる。このp 電極15は水平方向に延長される配線層18に接続される。

#### 【0054】

このp 電極15に対峙する側のn 電極は共通電極であり、図4に示すように、n 電極23は選択マスク33を開口した開口部22の部分でT i / A l / P t / A uなどの金属材料を蒸着して形成される。このn 電極23は下地成長層32に接続され、その下地成長層32上に選択成長された六角錐形状のG a N層35の第1導電型クラッド層まで電氣的に接続される。また、n 電極23はその表面側で垂直方向に延長される配線層21に接続され、発光ダイオードに供給する電流の供給を受ける。

#### 【0055】

上述の如き構造を備えた本実施形態の表示装置は、傾斜面を成長させた面に少なくとも素子の周囲が囲まれた構造とされており、選択成長に用いた絶縁膜などの選択マスク33上で終端する構造の導電層としてクラッド層であるG a N層35や、活性層であるI n G a N層36、クラッド層であるマグネシウムドープのG a N層37などが自己整合的に形成される。このため電極形成の際に素子間分離が不要若しくは容易となり、表示装置の製造のための工程数が増加を抑えることができる。さらに、本実施形態の表示装置では、ダミー素子12R、13B、14Gの発光波長の制御機能から、多色発光の表示装置を製造することができ、しかも同一サファイア基板10に同一の製造工程で単に選択マスクのダミー素子の配置パターンを変えるだけで、多色発光にできる。このため異なる製造方法で形成された発光素子を複合化する場合よりも大幅に製造工程を簡略化することができ、しかも位置精度にも優れた表示装置が製造されることになる。

#### 【0056】

##### 〔第2の実施形態〕

図5を参照しながら、本実施形態の表示装置について説明する。本実施形態の表示装置は、発光色を赤、青、緑とする3つの半導体発光素子を発光色ごとに3

つのサファイア基板 4 1、4 2、4 3 に形成し、それを貼り合わせた構造の装置である。図 5 において、サファイア基板 4 1 は緑色発光の発光ダイオード 5 1 G を形成した緑色発色用の基板であり、サファイア基板 4 2 は青色発光の発光ダイオード 5 1 B を形成した青色発色用の基板であり、サファイア基板 4 3 は赤色発光の発光ダイオード 5 1 R を形成した赤色発色用の基板である。

## 【 0 0 5 7 】

各サファイア基板 4 1、4 2、4 3 上には、図 5 では各 1 つずつの素子だけを図示しているが、それぞれ複数の発光ダイオードがマトリクス状に配列され、3 枚の基板を重ねた全体では発光色を赤、青、緑とする 3 つの半導体発光素子からなる 1 画素構造を水平方向と垂直方向に並べたマトリクス状に配列した構造になっている。これら各発光ダイオード 5 1 R、5 1 B、5 1 G は、それぞれ GaN 系の窒化物半導体層に第 1 導電型クラッド層、活性層、及び第 2 導電型クラッド層が形成されて構成されており、各発光ダイオード 5 1 R、5 1 B、5 1 G はほぼ六角錐形状のピラミッド型であり、光の照射方向は図 5 の矢印 h 方向である。

## 【 0 0 5 8 】

サファイア基板 4 3 上において、赤色発光ダイオード 5 1 R の周囲の六方向であって六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子 6 3 が形成され、赤色発光ダイオード 5 1 R は 6 個のダミー素子 6 3 の中心に位置している。この赤色発光ダイオード 5 1 R の表面側の GaN 層は略矩形状の p 電極 6 6 に接続され、この p 電極 6 6 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 5 7 に一体に形成され若しくは接続されている。同様に、サファイア基板 4 2 上において、青色発光ダイオード 5 1 B の周囲の六方向であって 1 対の対向する辺が他の辺よりも長く形成された扁平な六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子 6 2 が形成され、青色発光ダイオード 5 1 B は 6 個のダミー素子 6 2 の中心に位置している。青色発光ダイオード 5 1 B は他の赤色発光ダイオード 5 1 R や緑色発光ダイオード 5 1 G に比べて素子の形状が帯状とされている。この青色発光ダイオード 5 1 B の表面側の GaN 層は略矩形状の p 電極 6 5 に接続され、この p 電極 6 5 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 5 6 に一体に形成され若しくは電氣的に接続されている。同様に、サファイア基板 4 1 上において、緑色発光ダイオ-

ド 1 1 G の周囲の六方向であって六角形の角部にあたる領域にはそれぞれダミー素子 6 1 が形成され、緑色発光ダイオード 5 1 G は 6 個のダミー素子 6 1 の中心に位置している。この緑色発光ダイオード 5 1 G の表面側では略矩形状の p 電極 6 4 に接続され、この p 電極 6 4 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 5 5 に一体に形成され若しくは電氣的に接続されている。なお、ここでダミー素子 6 3、6 2、6 1 の構造や機能については、前述の第 1 の実施形態の表示装置に使用されているダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G の構造、機能と実質的に同一であり、ここでは簡単のためにその説明を省略する。

## 【 0 0 5 9 】

本実施形態の表示装置においては、多色化を図るために、それぞれ単色発光用のサファイア基板 4 1、4 2、4 3 が 3 枚積層される。このため、サファイア基板 4 1、4 2、4 3 自体は光を透過する必要がある、例えば積層される基板の少なくとも光照射方向での射出側の 2 枚の基板 4 2、4 3 は他の基板上の発光素子で発光した光を透過する。サファイア基板 4 1、4 2、4 3 は一般に光透過性が良く、発光ダイオードの光を透過させることができる。サファイア基板 4 1、4 2、4 3 の光透過性を向上させるために、サファイア基板の裏面側を研削や研磨などによって薄くしても良く、エッチングなどによって光透過用の開口部などを形成しても良い。また、基板としては、サファイア基板に限らず他の基板を使用することができ、例えば G a A s 基板を使用して赤色発光の発光ダイオードを形成し、青色と緑色の発光ダイオードはサファイア基板に形成するようにすることもでき、あるいは 3 枚または光透過が必要な 2 枚の基板はプラスチック基板やガラス基板であって、これらのプラスチック基板やガラス基板の上に発光ダイオードを転写したものであっても良い。

## 【 0 0 6 0 】

基板同士を重ねた場合では、基板を透過するように光が素子から導出される。このため基板同士を重ねた場合に、光の照射方向で発光素子同士が重ならないようにすると共に、基体上に配列される複数の半導体発光素子の間の素子間領域に少なくとも  $1 \mu\text{m}$  以上の大きさの光透過領域を形成し、この光透過領域を裏面側の基板の発光素子からの光が透過するように構成する。前述のように、サファイ

ア基板 4 1、4 2、4 3 は光を透過させる機能があり、ダイオードの素子間の間隔を広くとることで容易に裏面側のダイオードの光を射出できる。

#### 【 0 0 6 1 】

また、電流を供給するための配線層 5 2、5 3、5 4 は、それぞれ発光ダイオードと重ならないように形成されるが、特に三枚のサファイア基板 4 1、4 2、4 3 の各配線層 5 2、5 3、5 4 を同じ位置とすることで、共通の電位を与える場合に配線が容易となる。また、配線層 5 2、5 3、5 4 は金属薄膜であって遮光性があることから、配線層 5 2、5 3、5 4 の合わせた占有面積が広くなると、発光ダイオードのレイアウトの自由度が低くなってしまいが、サファイア基板 4 1、4 2、4 3 の各配線層 5 2、5 3、5 4 を同じ位置とすることで、発光ダイオードのレイアウトの設計上の自由度を高くすることもできる。

#### 【 0 0 6 2 】

##### 〔第 3 の実施形態〕

図 6 乃至図 9 を参照しながら、本実施形態の表示装置について説明する。本実施形態の表示装置は、第 1 の実施形態と同様に、発光色を赤、青、緑とする 3 つの半導体発光素子からなる 1 画素構造をマトリクス状に配列した構造の表示装置であり、表示部の垂直方向と水平方向にそれぞれ各画素が並べられて構成されている。

#### 【 0 0 6 3 】

図 6 はその表示装置の 1 画素部分の構造を示す平面図である。図 6 に示すように、サファイア基板 7 0 上には赤色発光ダイオード 7 1 R、青色発光ダイオード 7 1 B、及び緑色発光ダイオード 7 1 G が垂直方向（図中 V 方向）及び水平方向（図中 H 方向）の両方向でそれぞれずれて斜めに配列されている。これら各発光ダイオード 7 1 R、7 1 B、7 1 G は、それぞれ G a N 系の窒化物半導体層に第 1 導電型クラッド層、活性層、及び第 2 導電型クラッド層が形成されて構成されており、これら素子は同一のサファイア基板 7 0 に同じ工程で形成される。各発光ダイオード 7 1 R、7 1 B、7 1 G はほぼ六角錐形状のピラミッド型であり、光の照射方向は図 6 の表面側から裏面側に向かう方向である。

#### 【 0 0 6 4 】

赤色発光ダイオード 7 1 R の周囲には六角形の辺の形に延在されたダミー素子 7 2 R が形成され、赤色発光ダイオード 7 1 R は六角形の辺の形に延在されたダミー素子 7 2 R の中心に位置している。この赤色発光ダイオード 7 1 R のマグネシウムドーブの GaN 層は略矩形状の p 電極 7 5 に接続され、この p 電極 7 5 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 7 8 に一体に形成され若しくは接続されている。同様に、青色発光ダイオード 7 1 B の周囲には 1 対の対向する辺が他の辺よりも長く形成された扁平な六角形の辺の形に延在されたそれぞれダミー素子 7 3 B が形成され、青色発光ダイオード 7 1 B は扁平な六角形の辺の形に延在されたダミー素子 7 3 B の中心に位置している。青色発光ダイオード 7 1 B は他の赤色発光ダイオード 7 1 R や緑色発光ダイオード 7 1 G に比べて素子の形状が帯状とされている。この青色発光ダイオード 7 1 B のマグネシウムドーブの GaN 層は略矩形状の p 電極 7 6 に接続され、この p 電極 7 6 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 7 9 に一体に形成され若しくは電氣的に接続されている。同様に、緑色発光ダイオード 7 1 G の周囲には六角形の辺の形に延在されたダミー素子 7 4 G が形成され、緑色発光ダイオード 7 1 G は六角形の辺の形に延在されたダミー素子 7 4 G の中心に位置している。この緑色発光ダイオード 7 1 G のマグネシウムドーブの GaN 層は略矩形状の p 電極 7 7 に接続され、この p 電極 7 7 は水平方向に延長されている細い帯状の配線層 8 0 に一体に形成され若しくは電氣的に接続されている。

#### 【 0 0 6 5 】

ここでダミー素子 7 2 R、7 3 B、7 4 G について詳しく説明すると、これらダミー素子 7 2 R、7 3 B、7 4 G は、各発光ダイオード 7 1 R、7 1 B、7 1 G の空間因子を設定するために各発光ダイオード 7 1 R、7 1 B、7 1 G の周囲に配設される。空間因子に応じて発光波長が制御されるため、このように各発光ダイオード 7 1 R、7 1 B、7 1 G の周囲に、これらダミー素子 7 2 R、7 3 B、7 4 G を配置することで、発光波長を積極的に且つ確実に制御することができる。図 7 は各発光色ごとの選択成長用のマスクと、結晶成長によって形成された発光ダイオードとダミー素子のパターンを示すものであり、図 7 の上側が選択成長用のマスクであり、下側が成長した発光ダイオードとダミー素子のパターンで

ある。

#### 【0066】

先ず、図7において(R)で示す赤色のマスクは、中心に発光ダイオードの選択成長マスク開口部85Rが形成され、その周囲には六角形の辺の形に延在されたダミー素子用の開口部86Rが形成される。開口部85Rの径は、例えば0.1 $\mu$ mから10 $\mu$ m程度とすることができ、その形状は略六角形などの多角形や円形、楕円形などでも良い。ダミー素子を形成するための開口部86Rと赤色発光ダイオード11Rの開口部85Rの間の距離は一例として20 $\mu$ m程度とすることができ、このため開口部86Rによって形成される六角形のサイズは40 $\mu$ m程度とすることができる。この赤色発光用のマスクの開口部85R、86Rを用いて選択成長することで、これら開口部85R、86Rの位置に選択成長から六角錐状の発光ダイオード71Rと六角形の辺の形に延在されたダミー素子72Rが形成される。中心に位置する発光ダイオード71Rはダミー素子72Rによって保護される。

#### 【0067】

図7において(B)で示す青色のマスクは、中心に発光ダイオードの選択成長マスク開口部85Bが略矩形状のパターンで形成され、その周囲に扁平した六角形の辺の形に延在されたダミー素子用の開口部87Bが形成される。略矩形状の開口部85Bのサイズは、例えば開口部85Rの径の2倍乃至10倍程度のサイズとすることが可能である。ダミー素子を形成するための開口部87Bと青色発光ダイオード11Bの開口部85Bの間の距離は、矩形状の開口部85Bの端部からのそれぞれの距離として、例えば20 $\mu$ m程度とすることができ、このため扁平した六角形の辺の形に延在された開口部87Bによって形成される扁平六角形の長手方向のサイズは40 $\mu$ m程度に開口部85Bの長手方向のサイズを加えたサイズとすることができる。この青色発光用のマスクの開口部85B、87Bを用いて選択成長することで、これら開口部85B、87Bの位置に選択成長から六角錐状の発光ダイオード71Bとダミー素子73Bが形成される。

#### 【0068】

図7において(G)で示す緑色のマスクは、中心に発光ダイオードの選択成長



マスク開口部 8 5 G が形成され、その周囲には六角形の辺の形に延在されたダミー素子用の開口部 8 8 G が形成される。開口部 8 5 G の径は、例えば  $0.1 \mu\text{m}$  から  $10 \mu\text{m}$  程度とすることができ、その形状は略六角形などの多角形や円形、楕円形などでも良い。ダミー素子を形成するための開口部 8 8 G と緑色発光ダイオード 1 1 G の開口部 8 5 G の間の距離は一例として  $10 \mu\text{m}$  程度とすることができ、このため六角形の辺の形に延在された開口部 8 8 G によって形成される六角形のサイズは  $20 \mu\text{m}$  程度とすることができる。この緑色発光用のマスクの開口部 8 5 G、8 8 G を用いて選択成長することで、これら開口部 8 5 G、8 8 G の位置に選択成長から六角錐状の発光ダイオード 7 1 G とダミー素子 7 4 G が形成される。

## 【 0 0 6 9 】

これらダミー素子 7 2 R、7 3 B、7 4 G によっても、前述のダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G による空間因子に設定と同様に、各発光ダイオード 7 1 R、7 1 B、7 1 G は発光波長が異なるものとされる。本実施例では、各発光ダイオードは同一サファイア基板 7 0 上に形成される同様の層構造の素子を、ダミー素子 7 2 R、7 3 B、7 4 G によって発光波長が異なるように制御しているが、これに限らず、例えば 3 波長の中の 1 つ又は 2 つを異なる層構造とし、ダミー素子を設けるのは一部の発光ダイオードだけにするような構成であっても良い。

## 【 0 0 7 0 】

次に、図 8 と図 9 を参照しながら、発光ダイオードの構造と配線部の構造について説明する。図 8 は図 6 の V I I I - V I I I 線断面図であり、赤色発光ダイオード 7 1 R の構造断面を示す。この赤色発光ダイオード 7 1 R はダミー素子 7 2 R、7 3 B、7 4 G による波長の制御を受けている部分（例えば不純物濃度、結晶構造など）を除き、青色発光ダイオード 7 1 B と緑色発光ダイオード 7 1 G と同じ層構造とされる。図 8 に示すように、赤色発光ダイオード 7 1 R は G a N 系の発光ダイオードであり、その構造については、C + 面を主面とするサファイア基板 7 0 上に A l N バッファ層やシリコンドープの G a N 系半導体層などを有する下地成長層 9 2 が形成され、その上に選択成長された六角錐形状の G a N 層 9 5 が形成されている。この六角錐形状の G a N 層 9 5 は下地成長層 9 2 上に形

成されたシリコン酸化膜からなる選択マスク93に形成された開口部94を介して選択成長した層である。開口部94は図2のマスクの開口部25Rに該当する。六角錐形状のGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層95はその選択マスク93を開口した開口部94の内部でMOCVD法などによって形成される。

#### 【0071】

このGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層95は、成長時に使用されるサファイア基板の主面をC面とした場合にS面（1-101面）で覆われたピラミッド型の成長層であり、n型とするためにシリコンがドーパされた領域とされる。Ga<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層95は、選択マスク93によって開口部94内部から結晶成長が生じて、傾斜面であるS面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成される。この時、選択成長に用いた絶縁膜からなる選択マスク93上で終端する構造にGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層95が自己整合的に成長する。このGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層95の傾斜面であるS面の部分はダブルヘテロ構造のクラッドとして機能する。Ga<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層95を覆うように活性層であるInGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層96が形成されており、その外側にマグネシウムドーパのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層97が形成される。このマグネシウムドーパのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層97もクラッドとして機能する。このマグネシウムドーパのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層97は、その素子周囲の端部で、絶縁膜からなる選択マスク93上で終端するように延在され、マグネシウムドーパのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層97は選択マスク93上で自己整合的に成長する。このため表示装置を構成するために、クラッド層であるGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層95や、活性層であるInGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層96、クラッド層であるマグネシウムドーパのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層97に関しては素子間分離が不要であり、選択マスク93を開口した位置に発光素子をセルフアラインで配置できることになる。ここで活性層であるInGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層96の膜厚は例えば3nm程度であり、マグネシウムドーパのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層97の膜厚は例えば20nm程度とすることができる。

#### 【0072】

このような発光ダイオードにはp電極75が形成されている。p電極75はマグネシウムドーパのGa<sub>0.4</sub>N<sub>0.6</sub>層97上に形成されるNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。p電極75の層構造の一例としては、Niが約1nmであり、Ptが約10nmであり、Auが約

100nmとされる。このp電極75は水平方向に延長される配線層78に接続される。

#### 【0073】

このp電極15に対峙する側のn電極は共通電極であり、図9に示すように、n電極83は選択マスク93を開口した開口部82の部分でTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。このn電極83は下地成長層92に接続され、その下地成長層92上に選択成長された六角錐形状のGaN層95の第1導電型クラッド層まで電氣的に接続される。また、n電極83はその表面側で垂直方向に延長される配線層81に接続され、発光ダイオードに供給する電流の供給を受ける。

#### 【0074】

上述の如き構造を備えた本実施形態の表示装置は、傾斜面を成長させた面に少なくとも素子の周囲が囲まれた構造とされており、選択成長に用いた絶縁膜などの選択マスク93上で終端する構造の導電層としてクラッド層であるGaN層95や、活性層であるInGaN層96、クラッド層であるマグネシウムドープのGaN層97などが自己整合的に形成される。このため電極形成の際に素子間分離が不要若しくは容易となり、表示装置の製造のための工程数が増加を抑えることができる。さらに、本実施形態の表示装置では、線状に延長されているダミー素子72R、73B、74Gの発光波長の制御機能から、多色発光の表示装置を製造することができ、しかも同一サファイア基板70に同一の製造工程で単に選択マスクのダミー素子の配置パターンを変えるだけで、多色発光にできる。このため異なる製造方法で形成された発光素子を複合化する場合よりも大幅に製造工程を簡略化することができ、しかも位置精度にも優れた表示装置が製造されることになる。

#### 【0075】

##### 〔第4の実施形態〕

図10乃至図15を参照しながら、本実施形態の表示装置について説明する。本実施形態の表示装置は、発光色を赤、青、緑とする3つの半導体発光素子を発光色ごとに3枚のサファイア基板100R、100B、100Gに形成し、それ

を貼り合わせた構造の装置である。

#### 【0076】

図10は3枚のサファイア基板100R、100B、100Gを積層して上から見た状態を示す平面図である。青色発光ダイオード101、緑色発光ダイオード111、赤色発光ダイオード121が、それぞれGaN系の窒化物半導体層に第1導電型クラッド層、活性層、及び第2導電型クラッド層が形成されて構成されており、選択成長によってほぼ六角錐形状のピラミッド型の形状を有している。これら発光ダイオード101、111、121の構造は、前述の第1の実施形態の発光ダイオード11Rと実質的に同構造であり、発光波長を青、緑、赤にするために、活性層のインジウムのドーブ量などが制御されている。

#### 【0077】

図11乃至図13はそれぞれのサファイア基板100B、100G、100Rごとの平面図であり、図11は青色発光ダイオード101を形成したサファイア基板100Bの平面図であり、図12は緑色発光ダイオード111を形成したサファイア基板100Gの平面図であり、図13は赤色発光ダイオード121を形成したサファイア基板100Rの平面図である。図11に示すように、サファイア基板100B上で青色発光ダイオード101はマトリクス状に配列されており、水平方向に延長している配線層として複数の水平配線102が形成され、これらと垂直な方向に延長する形で垂直配線103が形成されている。水平配線102は各青色発光ダイオード101のp電極と接続する。また、各青色発光ダイオード101のn電極114は選択マスクの開口部に形成されており、垂直配線103と接続している。n電極114は1つの青色発光ダイオード101に対して1つ設けされているが、前述の実施形態と同様に共通化することも可能である。

#### 【0078】

次に、緑色発光ダイオード111は図12に示すようにマトリクス状に配列されており、水平方向に延長している配線層として複数の水平配線112が形成され、これらと垂直な方向に延長する形で垂直配線113が形成されている。ここで緑色発光ダイオード111の配列ピッチは前述の青色発光ダイオード101の配列ピッチと同じであるが、図中垂直方向に1つの素子分だけずれた構造となっ

ている。水平配線 112 は各緑色発光ダイオード 111 の p 電極と接続する。また、各緑色発光ダイオード 111 の n 電極 114 は選択マスクの開口部に形成されており、垂直配線 113 と接続している。n 電極 114 は 1 つの緑色発光ダイオード 111 に対して 1 つ設けされているが、前述の実施形態と同様に共通化することも可能である。

## 【0079】

同様に、赤色発光ダイオード 121 は図 13 に示すようにマトリクス状に配列されており、水平方向に延長している配線層として複数の水平配線 112 が形成され、これらと垂直な方向に延長する形で垂直配線 113 が形成されている。ここで赤色発光ダイオード 121 の配列ピッチは前述の青色発光ダイオード 101 の配列ピッチと同じであるが、図中垂直方向に緑色発光ダイオード 111 よりもさらに 1 つの素子分だけずれた構造となっている。水平配線 122 は各赤色発光ダイオード 121 の p 電極と接続する。また、各赤色発光ダイオード 121 の n 電極 124 は選択マスクの開口部に形成されており、垂直配線 123 と接続している。n 電極 124 は 1 つの赤色発光ダイオード 121 に対して 1 つ設けられているが、前述の実施形態と同様に共通化することも可能である。

## 【0080】

ここで、青色発光ダイオード 101 を形成したサファイア基板 100B の垂直配線 103 と、緑色発光ダイオード 111 を形成したサファイア基板 100G の垂直配線 113 と、赤色発光ダイオード 121 を形成したサファイア基板 100R の垂直配線 123 とは、同じ水平方向の位置を占めるように形成されている。同様に、サファイア基板 100B 上の n 電極 104 と、サファイア基板 100G 上の n 電極 114 と、サファイア基板 100R 上の n 電極 124 ととは、同じ水平方向並びに垂直方向の位置を占めるように形成されている。このように垂直配線 103、113、123 や n 電極が重なるように形成されているため、共通の電位を与える場合に配線が容易となる。各配線層等を同じ位置とすることで、発光ダイオードのレイアウトの設計上の自由度を高くすることも可能である。

## 【0081】

次に、図 14 と図 15 を参照しながら、発光ダイオードの構造と配線部の構造

について説明する。図 1 4 は図 1 1 の X I V - X I V 線断面図であり、青色発光ダイオード 1 0 1 の構造断面を示す。この青色発光ダイオード 1 0 1 は G a N 系の発光ダイオードであり、その構造については、C + 面を主面とするサファイア基板 1 0 0 B 上に A l N バッファ層やシリコンドープの G a N 系半導体層などを有する下地成長層 1 3 2 が形成され、その上に選択成長された六角錐形状の G a N 層 1 3 5 が形成されている。この六角錐形状の G a N 層 1 3 5 は下地成長層 1 3 2 上に形成されたシリコン酸化膜からなる選択マスク 1 3 3 に形成された開口部 1 3 4 を介して選択成長した層である。開口部 1 3 4 は図 2 のマスクの開口部 2 5 R に該当する。六角錐形状の G a N 層 1 3 5 はその選択マスク 1 3 3 を開口した開口部 1 3 4 の内部で M O C V D 法などによって形成される。

#### 【 0 0 8 2 】

この G a N 層 1 3 5 は、成長時に使用されるサファイア基板の主面を C 面とした場合に S 面（1 - 1 0 1 面）で覆われたピラミッド型の成長層であり、n 型とするためにシリコンがドープされた領域とされる。G a N 層 1 3 5 は、選択マスク 1 3 3 によって開口部 1 3 4 内部から結晶成長が生じて、傾斜面である S 面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成される。この時、選択成長に用いた絶縁膜からなる選択マスク 1 3 3 上で終端する構造に G a N 層 1 3 5 が自己整合的に成長する。この G a N 層 1 3 5 の傾斜面である S 面の部分はダブルヘテロ構造のクラッドとして機能する。G a N 層 1 3 5 を覆うように活性層である I n G a N 層 1 3 6 が形成されており、その外側にマグネシウムドープの G a N 層 1 3 7 が形成される。このマグネシウムドープの G a N 層 1 3 7 もクラッドとして機能する。このマグネシウムドープの G a N 層 1 3 7 は、その素子周囲の端部で、絶縁膜からなる選択マスク 1 3 3 上で終端するように延在され、マグネシウムドープの G a N 層 1 3 7 は選択マスク 1 3 3 上で自己整合的に成長する。このため表示装置を構成するために、クラッド層である G a N 層 1 3 5 や、活性層である I n G a N 層 1 3 6、クラッド層であるマグネシウムドープの G a N 層 1 3 7 に関しては素子間分離が不要であり、選択マスク 1 3 3 を開口した位置に発光素子をセルフアラインで配置できることになる。ここで活性層である I n G a N 層 1 3 6 の膜厚は例えば 3 n m 程度であり、マグネシウムドープの

GaN層137の膜厚は例えば20nm程度とすることができる。

【0083】

このような発光ダイオードにはp電極138が形成されている。p電極138はマグネシウムドーピングのGaN層137上に形成されるNi/Pt/AuまたはNi(Pd)/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。p電極138の層構造の一例としては、Niが約1nmであり、Ptが約10nmであり、Auが約100nmとされる。このp電極138は水平方向に延長される配線層102に接続される。

【0084】

このp電極138に対峙する側のn電極は共通電極であり、図15に示すように、n電極104は選択マスク133を開口した開口部134の部分でTi/Al/Pt/Auなどの金属材料を蒸着して形成される。このn電極104は下地成長層132に接続され、その下地成長層132上に選択成長された六角錐形状のGaN層135の第1導電型クラッド層まで電氣的に接続される。また、n電極104はその表面側で垂直方向に延長される配線層103に接続され、発光ダイオードに供給する電流の供給を受ける。

【0085】

上述の如き構造を備えた本実施形態の表示装置は、傾斜面を成長させた面に少なくとも素子の周囲が囲まれた構造とされており、選択成長に用いた絶縁膜などの選択マスク133上で終端する構造の導電層としてクラッド層であるGaN層135や、活性層であるInGaN層136、クラッド層であるマグネシウムドーピングのGaN層137などが自己整合的に形成される。このため電極形成の際に素子間分離が不要若しくは容易となり、表示装置の製造のための工程数が増加を抑えることができる。さらに、本実施形態の表示装置では、位置精度にも優れた表示装置が製造されることになる。

【0086】

上述の実施形態においては、表示装置として赤、青、緑の発光ダイオードの組み合わせで表示装置を説明したが、他の発光波長のダイオードを使用することもでき、3色に限定されず2色や4色以上の発光色を有する表示装置であっても良く

、発光素子も発光ダイオードに限定されず、半導体レーザーやレーザーとLEDの組み合わせなどであっても良い。すなわち、半導体レーザーに波長制御を可能とするダミー素子を形成することもできる。勿論、ダミー素子を形成する目的は波長の制御に限定されず、素子の保護などの目的であっても良い。また、サファイア基板100B、100G、100Rの積層の順番は入れ替えることも可能である。

#### 【0087】

##### 【発明の効果】

上述のように、本発明の表示装置によれば、傾斜面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成されることから、電極形成の際に素子間分離が不要若しくは容易となり、表示装置の製造のための工程数の増加を抑えることができる。また、ダミー素子による発光波長の制御が行われるため、同一の基体上に同一の製造工程で複数の発光波長の素子を形成できる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の第1の実施形態の表示装置の1画素分の素子レイアウトを示す平面図である。

##### 【図2】

本発明の第1の実施形態の表示装置の各発光ダイオードの選択マスクのパターン（上側）と素子の平面パターン（下側）を示す平面図である。

##### 【図3】

図1のIII-III線断面であって、本発明の第1の実施形態の表示装置の赤色発光ダイオードの断面図である。

##### 【図4】

図1のIV-IV線断面であって、本発明の第1の実施形態の表示装置の赤色発光ダイオードの断面図である。

##### 【図5】

本発明の第2の実施形態の表示装置の1画素部分を模式的に示す分解斜視図である。



【図 6】

本発明の第 3 の実施形態の表示装置の 1 画素分の素子レイアウトを示す平面図である。

【図 7】

本発明の第 3 の実施形態の表示装置の各発光ダイオードの選択マスクのパターン（上側）と素子の平面パターン（下側）を示す平面図である。

【図 8】

図 6 の V I I I - V I I I 線断面であって、本発明の第 3 の実施形態の表示装置の赤色発光ダイオードの断面図である。

【図 9】

図 6 の I X - I X 線断面であって、本発明の第 3 の実施形態の表示装置の赤色発光ダイオードの断面図である

【図 1 0】

本発明の第 4 の実施形態の表示装置の 1 画素分の素子レイアウトを示す平面図である。

【図 1 1】

本発明の第 4 の実施形態の表示装置の青色発光ダイオードのレイアウトを示す平面図である。

【図 1 2】

本発明の第 4 の実施形態の表示装置の緑色発光ダイオードのレイアウトを示す平面図である。

【図 1 3】

本発明の第 4 の実施形態の表示装置の赤色発光ダイオードのレイアウトを示す平面図である。

【図 1 4】

図 1 1 の X I V - X I V 線断面であって、本発明の第 4 の実施形態の表示装置の青色発光ダイオードの断面図である。

【図 1 5】

図 1 1 の X V - X V 線断面であって、本発明の第 4 の実施形態の表示装置の青

色発光ダイオードの断面図である

【符号の説明】

11R、51R、71R、121 赤色発光ダイオード

11B、51B、71B、101 青色発光ダイオード

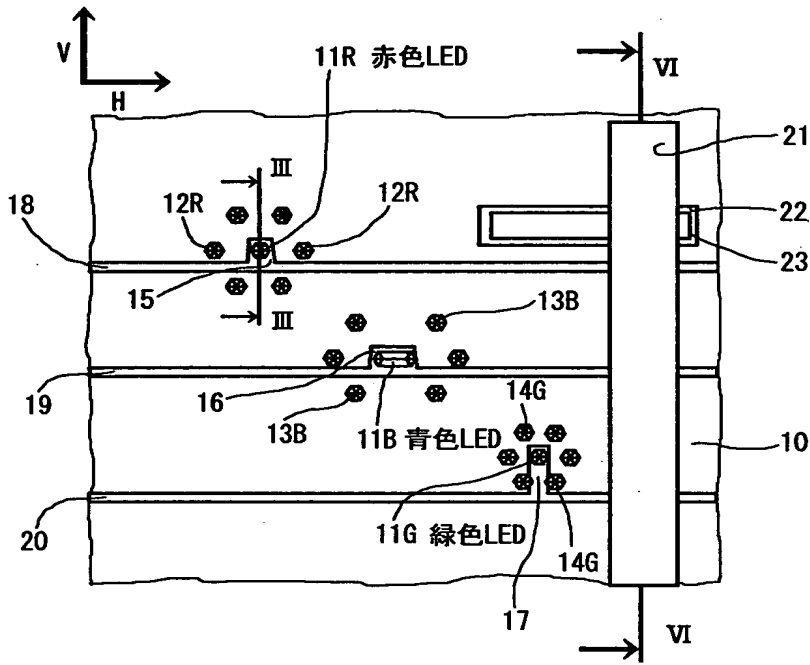
11G、51G、71G、111 緑色発光ダイオード

12R、13B、14G、61、62、63、72R、73B、74G ダミー  
素子

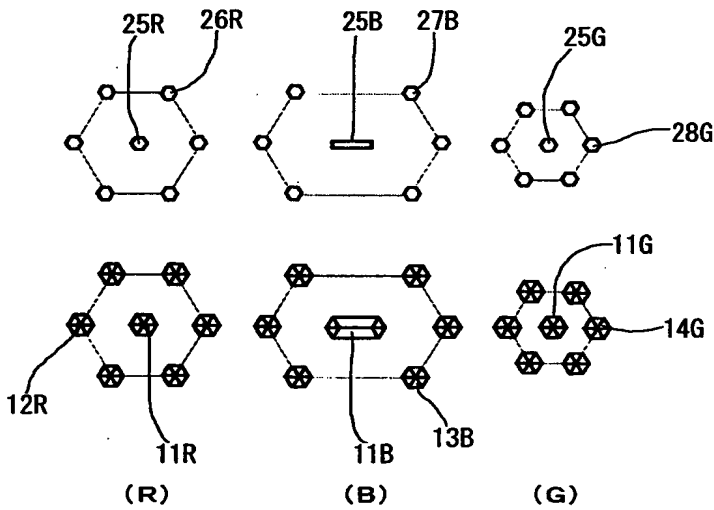
10、41、42、43、70、100B、100G、100R サファイア基  
板

【書類名】 図面

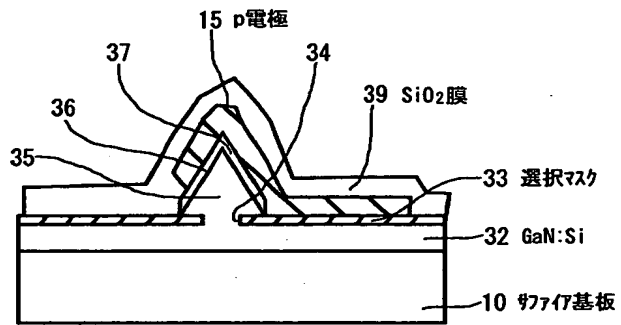
【図 1】



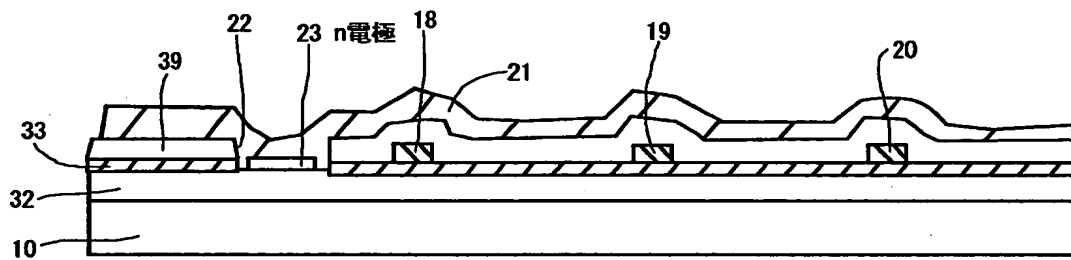
【図 2】



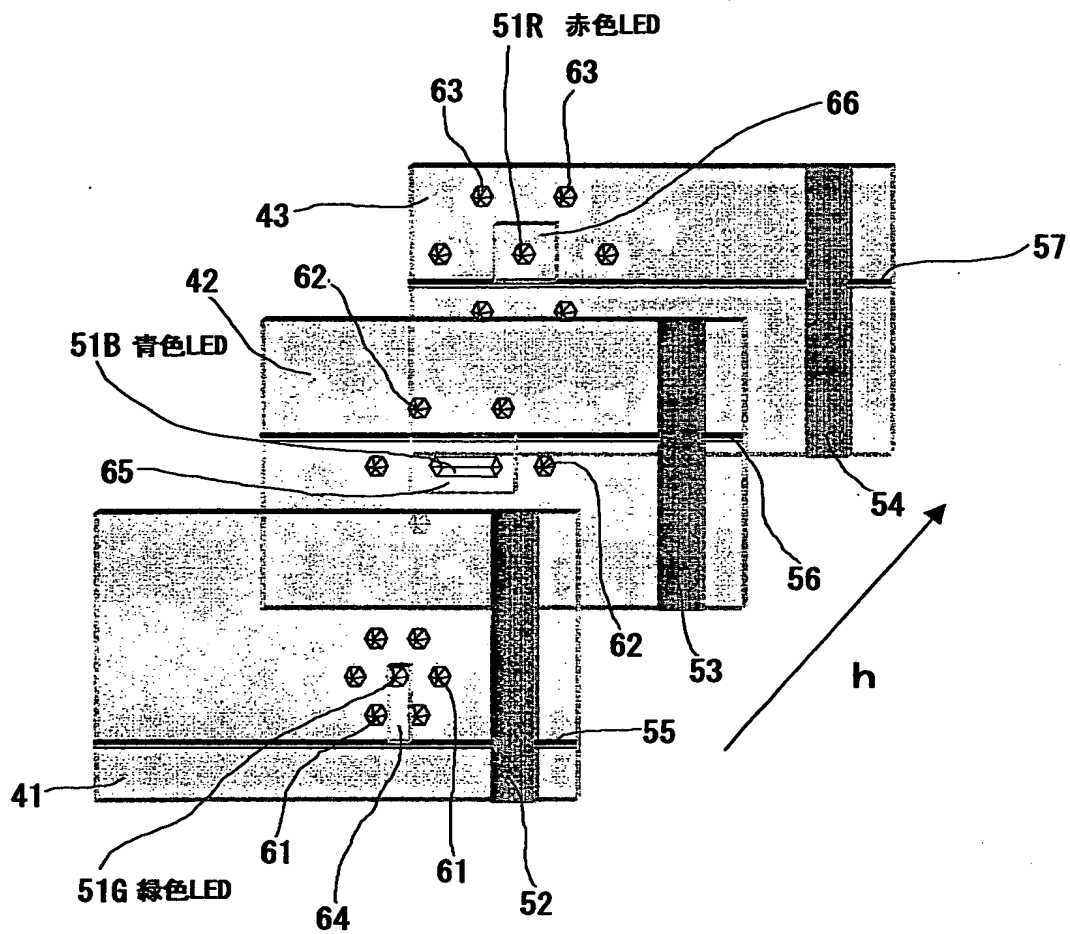
【図 3】



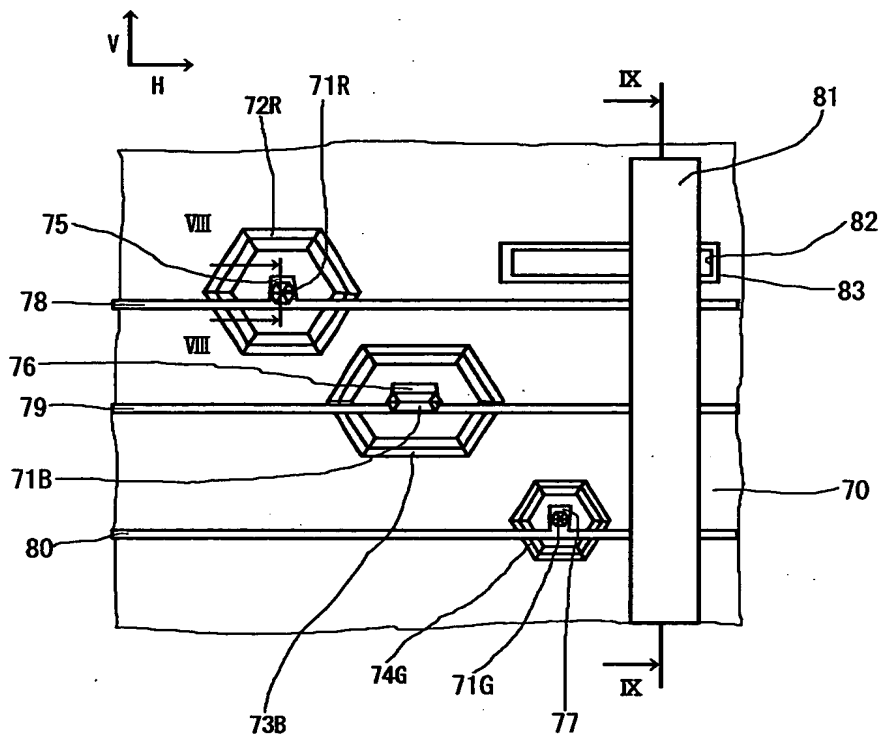
【図4】



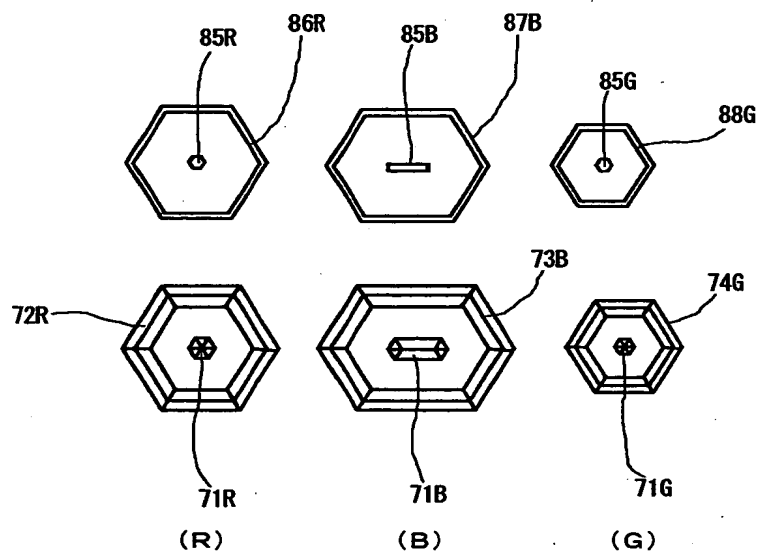
【図 5】



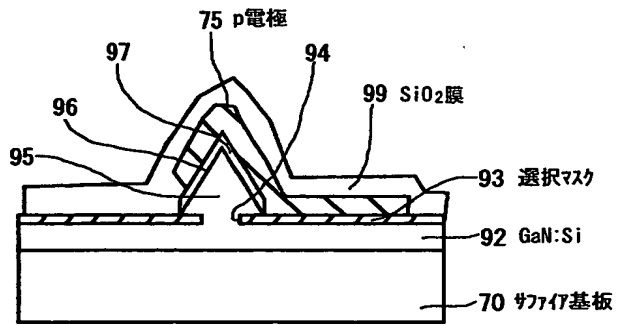
【図 6】



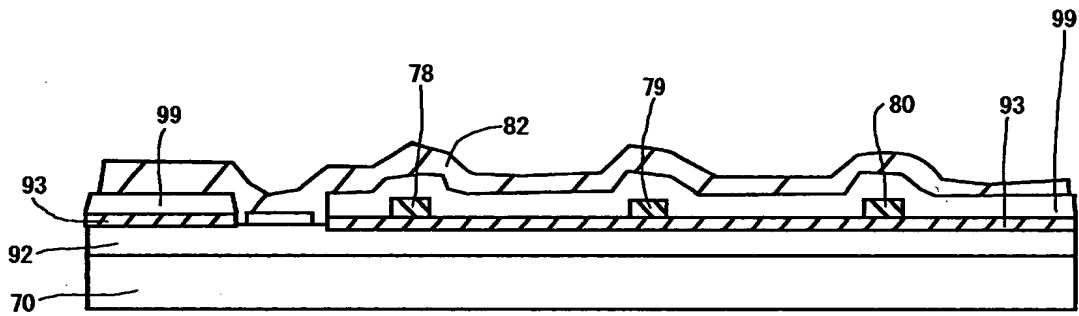
【図 7】



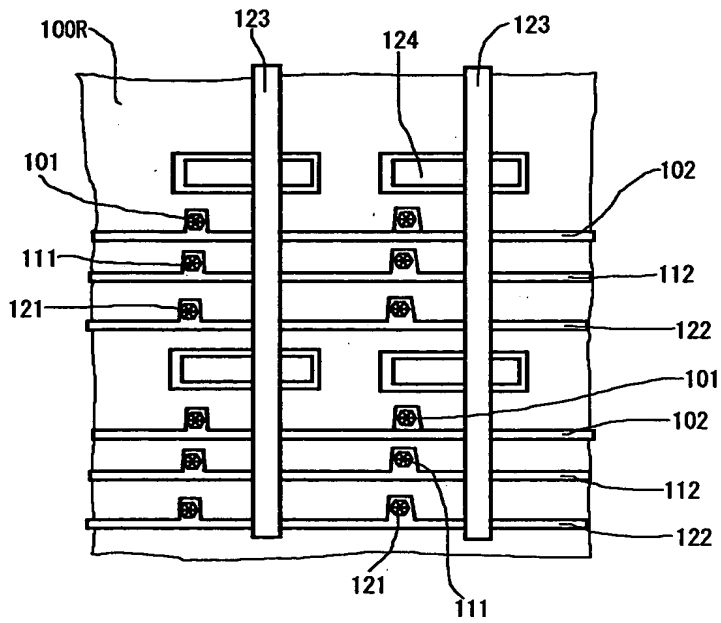
【図 8】



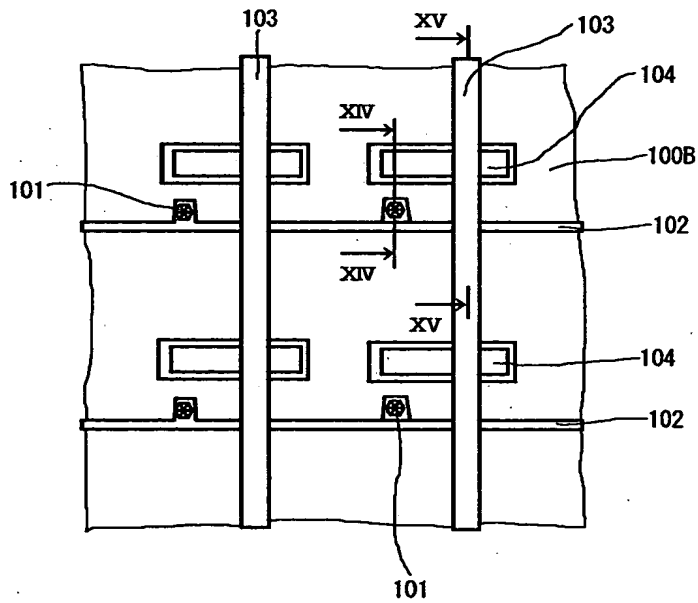
【図 9】



【図10】

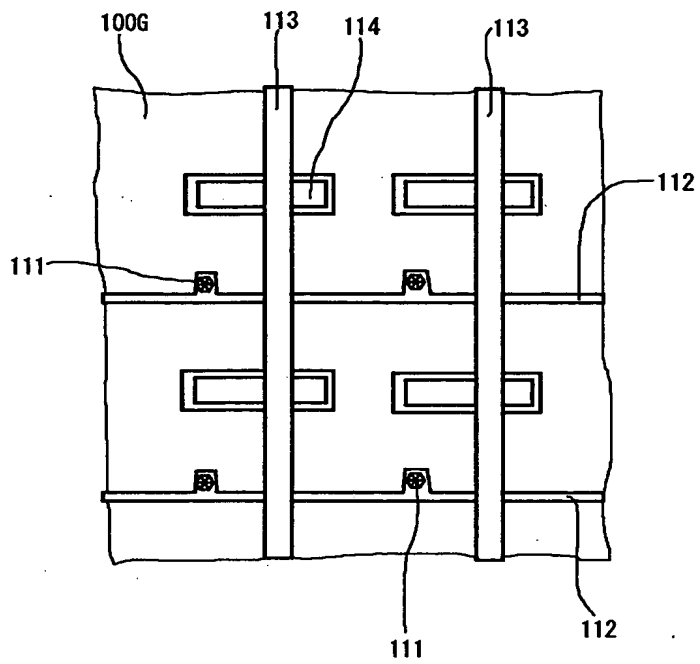


【図11】

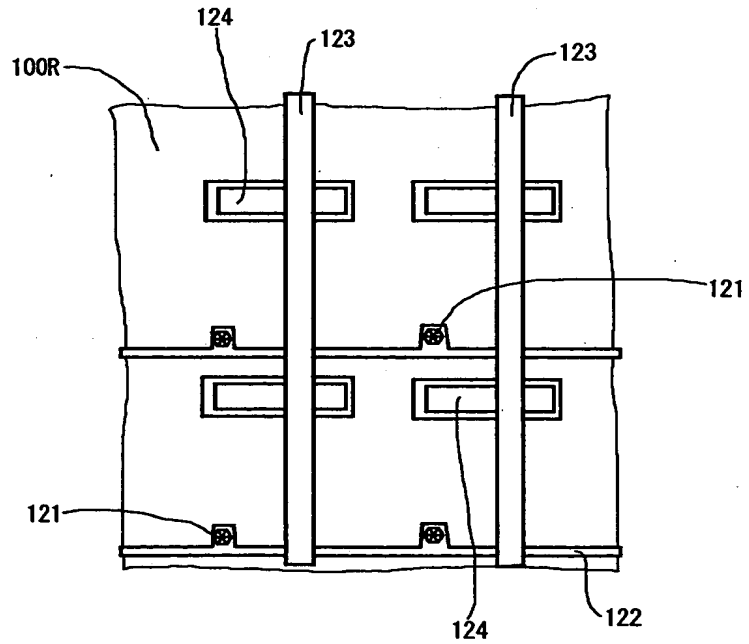




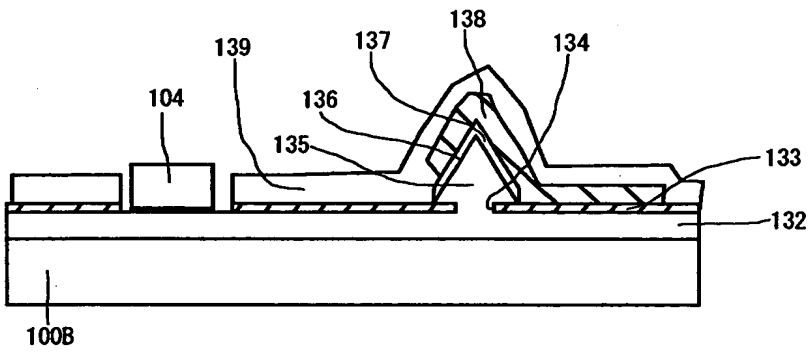
【図 12】



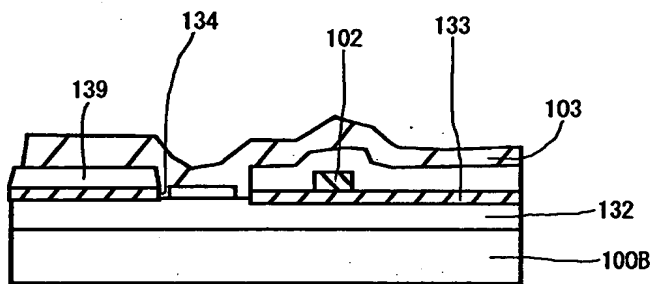
【図 13】



【図 14】



【図 15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 製造のための工程数も大きく増加させずに多色化に好適な構造を有する表示装置及び半導体発光素子の提供する。

【解決手段】 本発明の表示装置においては、基体 1 0 上に複数の半導体発光素子 1 1 R、1 1 B、1 1 G が配列され、これら半導体発光素子 1 1 R、1 1 B、1 1 G が発光波長を設定するためのダミー素子 1 2 R、1 3 B、1 4 G と共に形成されることを特徴とし、さらに、それら半導体発光素子 1 1 R、1 1 B、1 1 G をそれぞれ選択成長により形成することで、傾斜面を成長させた面に一方の導電層が自己整合的に形成される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000002185]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都品川区北品川6丁目7番35号

氏 名 ソニー株式会社